

УДК 620.93;662.769.21

Г. И. Новиков, профессор

ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ЕЕ РОЖДЕНИЕ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

In this article we focused on the development of problem of energetik, peculiarity of its decisigu in Laboratory of Bylorussian State Technological University (Bgelorussian Technological ingtitute). We diescass the analysis of thermochemical and thermo-electrochemical circle of reccipt of hydrogen from water and hydrogen sulphide and using wethod and high-temperature electrolysis.

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ПРОБЛЕМЫ

Последняя треть теперь уже прошедшего 20-го столетия породила одно из величайших свершений - ядерную энергетику, в значительной степени как альтернативу энергетике традиционной, базирующейся на (близких к истощению) природных ресурсах каменного угля, нефти, природного газа и древесины, хотя последняя воспроизводима.

Однако решение этой проблемы натолкнулось на противоречие между спецификой ядерной формы энергии (теплота) и способами ее использования в энергоемких производствах, на транспорте и в быту (она не может заменить природный газ, бензин, керосин, дизтопливо).

В связи с этим возможна (но остается не решенной и поныне) новая проблема создания экономически и экологически целесообразных способов превращения не удобной по многим показателям ядерной энергии (она в основном реализуется в виде теплоты) в другие формы, пригодные для использования в привычных технологических устройствах.

Такой средой переноса энергии от ядерных реакторов к потребителю, по мнению международной научно-технической общественности, может и должен стать водород.

Его запасы неиссякаемы в виде воды и пока еще велики в виде нефти, природного газа и сероводорода. Использование водорода уже сегодня является крупнотоннажным, что хорошо иллюстрируется таблицей 1, в которой в качестве примера приведены данные потребления водорода в химической промышленности и металлургии США за период с 1983 по 2000 гг.

Таблица 1

Потребление водорода в США (в млрд.м³)

Отрасли, продукт	1983 г.	2000 г.
Производство NH ₃	43	102
Производство метанола	17	17
Переработка нефти	37	108
Металлургия	14	40
Синтетическое топливо	17	62
Итого	128	368

В России уровень потребления водорода меньше, он используется главным образом при производстве аммиака, в металлургии и в нефтеперерабатывающей промышленности для производства моторных топлив и масел.

При этом производство водорода основывается в основном на конверсии природного газа, переработке нефти, риформинге каменного угля и лишь отчасти на электролизе воды. Иными словами, для производства водорода источником служили и продолжают служить все те же традиционные энергоресурсы, которые все более приближаются к истощению и которые следует расходовать все более экономно (вспомните менделеевское - нефть не топливо, топить можно и ассигнациями). Именно поэтому во всем мире начался повсеместный поиск более экономичных, чем прямой электролиз, методов получения водорода из воды, но без использования традиционных энергоресурсов.

Для решения этой проблемы в Советском Союзе первоначально были созданы 4 научно-исследовательских лаборатории (позже число их возросло):

1. Проблемная научно-исследовательская лаборатория при Белорусском технологическом институте им.С.М.Кирова (ныне БГТУ) в г. Минске под научным руководством доктора химических наук, заслуженного деятеля науки РБ, профессора Г.И.Новикова.

2. Научно-исследовательская лаборатория водородной энергетики в г.Минске в НИИ ядерной энергетики НАН РБ под научным руководством директора института академика АН РБ А.К.Красина.

3. Научно-исследовательская лаборатория (а позже - отдел) водородной энергетики в Институте атомной энергии им. И.В.Курчатова (г.Москва) под научным руководством академика

В.А.Легасова (в настоящее время правопреемником является академик В.Д.Русанов, директор института).

4. Научно-производственная лаборатория при Гродненском производственном объединении "Азот" под научным руководством профессора Г.И.Новикова (финансировалась ИАЭ им.И.В.Курчатова).

Основными направлениями работы этих лабораторий были следующие:

1. Критический анализ и разработка термохимических и термоэлектрохимических циклических процессов ступенчатого разложения воды (а позже и сероводорода) с целью получения промышленного водорода.

2. Разработка СВЧ-плазмохимического и УФ-методов прямого получения водорода из сероводорода.

3. Разработка высокотемпературного метода электролиза водяного пара на установках с твердым (керамическим) электролитом.

4. Разработка топливных аккумуляторов, одним из рабочих тел которых является водород, а также высокотемпературных электролизеров и топливных элементов, работающих на природном газе, спирте, аммиаке и угле.

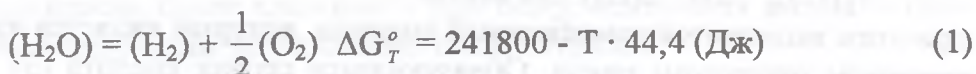
5. Разработка катализаторов дожигания водорода в водяных системах атомных реакторов.

Следует отметить, что в БТИ им.С.М.Кирова (ныне БГТУ) на базе кафедры общей и неорганической химии и проблемной научно-исследовательской лаборатории "Водородной энергетики" была создана новая кафедра технологии электрохимических производств.

Перейдем к краткому анализу некоторых разработок, связанных с проблемой водородной энергетики в упомянутых выше тесно связанных между собой лабораториях.

II. РАЗРАБОТКА ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ И ТЕРМОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ВОДЫ

Известно, что прямое термическое получение водорода из паров воды по схеме



требует весьма большой затраты энергии, а следовательно, и очень высокой температуры:

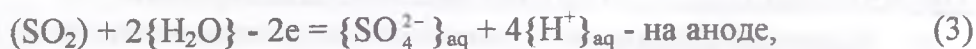
$$T_{K_p=1} = \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ} = \frac{241800}{44,4} = 5440 \text{ К.} \quad (2)$$

Однако можно заменить прямое термическое разложение воды рядом последовательных ступеней (n), каждая из которых требует затраты только части общей энергии ($\frac{241800}{n}$ Дж) и, следовательно, может осуществляться при более низкой температуре. Проведенный анализ показал, что при удачном подборе рабочих веществ, при $n \cong 4$, т.е. разложив процесс на четыре ступени, можно осуществить разложение водяного пара не используя температур на каждой ступени выше 1200 - 1300 К, а это уже технологично. Но четырехступенчатый цикл требует проведения многих дополнительных процедур разделения фаз, переноса веществ из одной емкости, или жидкой среды, в другую, нагрева, охлаждения и т.д.; все это связано с громоздкостью аппаратуры, медлительностью процедур, с резким снижением КПД, т.е. с потерей технологичности и практической осуществимостью подобных вариантов.

Вместо таких громоздких, многоступенчатых термохимических циклов нами были предложены двухступенчатые комбинированные циклы - термоэлектрохимические. В них одна ступень термохимическая (эндотермическая), идущая за счет тепла внешнего источника. А вторая ступень - тоже эндотермическая, электрохимическая, осуществляемая за счет энергии электрического тока.

Нами после серьезного анализа большого числа вариантов были предложены следующие циклы:

А. Сернокислотный двухступенчатый цикл. Его первая стадия $\{H_2SO_4\} \rightarrow (H_2O) + (SO_2) + (O_2)$ термическая, она идет практически до конца при 1100 - 1200 К, но при последующем снижении температуры, без катализаторов, не идет в обратном направлении; образующаяся смесь сравнительно легко разделяется, кислород отделяется в качестве товарного продукта, а SO_2 поступает на электрохимическую регенерацию исходной серной кислоты:

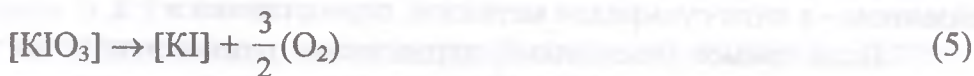


при этом выделяется газообразный водород, который является вторым товарным продуктом цикла. Образующаяся серная кислота (3) после ректификационного концентрирования возвращается в голову процесса.

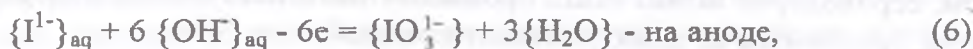
Этот цикл разрабатывался нами совместно с лабораторией водородной энергетики ИАЭ им. И.В. Курчатова, а также с нашей научно-

производственной лабораторией на ГПО "Азот", где была создана укрупненная установка по этой схеме.

Б. Иодид-иодатный двухступенчатый цикл, работающий по следующей схеме. Первая ступень:



Термохимическая ступень осуществляется при 820 - 870 К; здесь кислород - товарный продукт, а KI в виде щелочного раствора подвергается электролизу по схеме



При этом из-за ограниченной растворимости при охлаждении католита кристаллизуется KIO_3 (6), который выводится из образовавшейся пульпы и возвращается в голову процесса, а водород (7) выводится из системы как товарный продукт.

По этой схеме укрупненная лабораторная установка была создана в лаборатории водородной энергетики (Сосны, г. Минск) с активным участием лауреата Государственной премии М.Е.Ерошова.

Оба блока этой установки были созданы, запущены, но технологически не связаны в замкнутый цикл.

Сравнивая рассмотренные выше два термоэлектрохимических цикла - сернокислотный и иодид-иодатный, следует отметить, что их принципиальное различие состоит в удельном вкладе теплоты (для реализации термохимической стадии) и электроэнергии (для реализации электрохимической стадии), соотношение которых следующее:

$$\text{для сернокислотного} - \eta = \frac{\text{теплота}}{\text{эл. энергия}} \cong 0,75,$$

$$\text{для иодид-иодатного} \eta \cong 0,25.$$

Поэтому изначально сернокислотный цикл (высокотемпературный) планировался для решения проблем "провальной" энергии АЭС, а иодид-иодатный, как менее эффективный по вкладу теплоты и технологически более сложный - для более локальных целей, с привязкой к источникам тепла среднетемпературным.

III. ПРОБЛЕМА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ СЕРОВОДОРОДА

А. Сероводород, являющийся аналогом воды по Периодической системе элементов, отличается от нее своей малой энергетической прочностью, сильными восстановительными свойствами (горит на воздухе) и высокой токсичностью.

Сероводород достаточно широко распространен в природе и в свободном виде (в природном газе некоторых крупных месторождений содержится до 20 об.%, а иногда - до 70 об.%; в нефти, в некоторых гидротермальных источниках, в глубинах Черного моря и т.д.) и в связанном - в виде сульфидов металлов, сероорганики и т.д.

Если прямое (частичное!) термическое разложение воды требует температур порядка 5000 К(1), то разложение сероводорода начинается с 700 К, проходит до конца уже к 2000 К.

Таким образом, будучи крупнотоннажным сырьевым продуктом, сероводород может стать промышленным источником водорода и серы, сравнимым по конкурентности с водой.

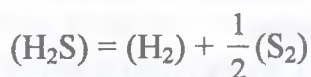
Исходя из этого, нами был предложен метод прямого разложения сероводорода в СВЧ-плазме. Эта работа как научно-исследовательская была поставлена и в ИАЭ им.И.В.Курчатова (в лаборатории проф.В.Д.Русанова) и в нашей проблемной лаборатории. Опыты показали, что в СВЧ-плазме сероводород (даже в сверхзвуковом потоке!) разлагается полностью, но поскольку в активной зоне температура поднимается до высоких значений, то из-за невозможности достаточно быстрого ее снижения на заключительной стадии идет частичная рекомбинация H_2S . Однако метод признан перспективным и сотрудниками ИАЭ им.И.В.Курчатова на Оренбургском газоперерабатывающем заводе организован опытный цех, где проходят испытания с использованием плазмотронов мегаваттной мощности.

Б. Однако трудности организации промышленного СВЧ-процесса явились побудительным стимулом для следующего нашего предложения, в котором сероводород разлагается на элементы фотохимически, под действием УФ-излучения, практически без нагрева. Этот процесс



$$\Delta G_T^\circ = 20150 + T \cdot 43 \text{ (Дж)}$$

энергетически выгоднее плазмохимического приблизительно в четыре раза:



$$\Delta G_T^\circ = 84700 - T \cdot 38,8.$$

Разложение предлагается проводить при температуре порядка 420 К, т.е. несколько выше температуры плавления серы, в результате чего легко осуществить разделение фаз - жидкой серы и газообразного

водорода, сделать процесс неравновесным и не допустить рекомбинации молекул сероводорода из серы и водорода.

В настоящее время эти совместные исследования и их внедрение продолжают в ИАЭ им.И.В.Курчатова сотрудниками института академика В.Д.Русанова.

В. Циклические методы разложения сероводорода (термо-электрохимические).

Возвращаясь к началу этой статьи, следует напомнить идею циклических методов: разделение одного большого энергетического барьера разложения воды на несколько невысоких промежуточных ступеней, каждую из которых можно преодолеть при более низкой температуре. Сказанное наглядно представлено на рис.1.

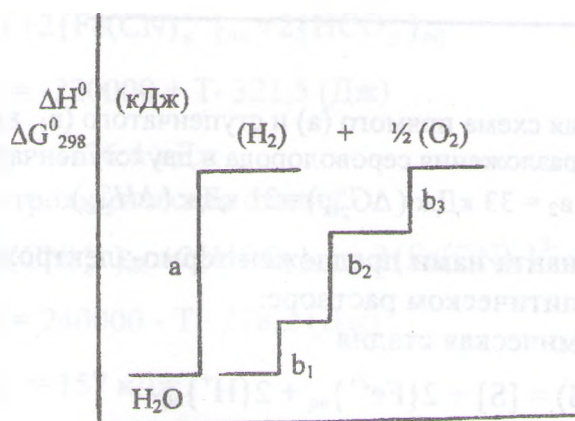


Рис.1. Энергетическая схема прямого (а) и ступенчатого (b_1, b_2, b_3, \dots) разложения воды в циклическом процессе:

$$a = \sum b_i = 285,8 \text{ кДж} (\Delta H_{298}^{\circ}) = 237,2 \text{ кДж} (\Delta G_{298}^{\circ})$$

На рис.2 представлена энергетическая схема прямого (а) и ступенчатого (b_1, b_2) термо-электрохимического разложения сероводорода в двухступенчатом цикле.

Поскольку, в отличие от воды, для разложения на простые вещества в случае воды требуется энергия очень большая (291,85 кДж/моль), которая в 15 раз превышает энергию разложения сероводорода (20,15 кДж/моль), то в последнем случае нет необходимости делить этот небольшой энергетический барьер на еще меньшие части, однако ступенчатость нужна в связи с необходимостью технологически разделить ступени выделения водорода и серы.

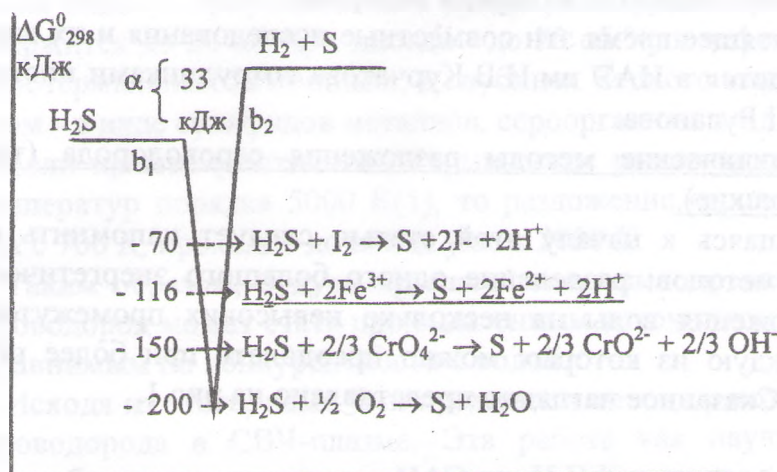


Рис.2. Энергетическая схема прямого (α) и ступенчатого (b₁, b₂) термо-электрохимического разложения сероводорода в двухступенчатом цикле:

$$a = b_1 - b_2 = 33 \text{ кДж} (\Delta G_{298}^{\circ}) = 21 \text{ кДж} (\Delta H_{298}^{\circ}).$$

Для этого варианта нами предложен термо-электрохимический цикл в водно-электролитическом растворе:

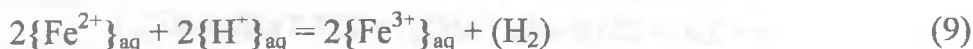
Термохимическая стадия



$$\Delta G_T^{\circ} = -60200 - T \cdot 185,1 \text{ (Дж)}$$

$$\Delta G_{298}^{\circ} = -115,4 \text{ кДж}$$

Электрохимическая стадия



$$\Delta G_T^{\circ} = 80400 + T \cdot 229,2 \text{ (Дж)}$$

$$\Delta G_{298}^{\circ} = 148,6 \text{ кДж}$$

$$\Delta \phi_{298}^{\circ} = -0,77 \text{ В}$$

На первой стадии (8) сероводород окисляется до серы, которая отфильтровывается, промывается, сушится и выводится из системы как товарный продукт.

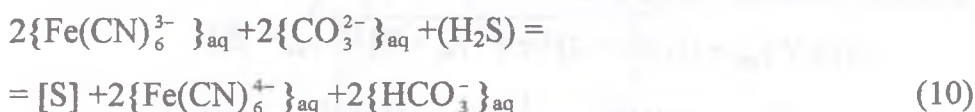
На второй стадии (9) электролит поступает в анодное пространство электролизера. Реакция (9) хорошо изучена. Здесь на катоде выделяется второй товарный продукт - водород. Энергия, которая за-

трачивается в процессе (9), в 1,6 раза меньше, чем требуется для электролиза воды.

Проведение подобного рода циклических процессов в кислых средах связано с определенными химическими и технологическими трудностями. Поэтому вместо (8) и (9) были предложены на изучение процессы с закомплексованными ионами железа, которые могут работать и в слабощелочных средах без опасности образования малорастворимых гидроксидов.

Такая схема с использованием ферро- и феррицианидов железа была исследована.

Термохимическая стадия



$$\Delta G_T^\circ = -220000 + T \cdot 321,5 \text{ (Дж)}$$

$$\Delta G_{298}^\circ = -126,4 \text{ кДж}$$

Электрохимическая стадия



$$\Delta G_T^\circ = 240000 - T \cdot 278,2 \text{ (Дж)}$$

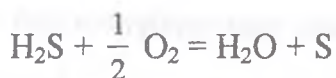
$$\Delta G_{298}^\circ = 157 \text{ кДж}$$

$$\Delta \varphi_{298}^\circ = -0,826 \text{ В}$$

Сравнение (10, 11) с (8, 9) показывает, что эти две схемы сравнимы по энергетическим показателям. Следует только отметить, что лучший результат достигается при замене карбоната на гидроортофосфат, за счет этого улучшаются электрохимические характеристики выделения водорода.

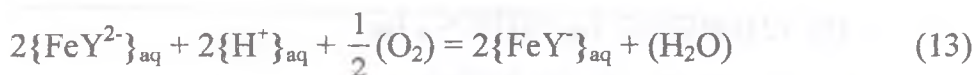
В сероводородной проблеме помимо задачи утилизации сероводорода есть и другая, экологическая.

Как уже отмечалось выше, сероводородом заражен практически весь добываемый природный газ, хотя и в разной степени. Так, природный газ Оренбургского месторождения содержит сероводород от долей до 5%об., и прежде чем направлять к потребителю, его очищают, а образовавшийся H_2S перерабатывают в печах Клауса по суммарной схеме



Но в тех случаях, когда содержание сероводорода невелико, хотя и выше ПДК, очистка газа обязательна, а использование метода Клауса нецелесообразно. Именно такая ситуация сложилась на Речицком газоперерабатывающем заводе, где попутный нефтяной газ требует очистки от небольших, но превышающих ПДК, количеств.

Для этой цели было проведено физико-химическое исследование циклического процесса, в котором задействованы комплексные (хелатные) ионы железа, а лигандами являются отрицательно заряженные анионы этилендиаминтетрауксусной кислоты, ЭДТА:



В этом двухстадийном термохимическом цикле обе стадии проводятся при одной и той же температуре (от 15°C до 40°C), обе идут самопроизвольно и глубоко, при отсутствии побочных реакций, что достигается условиями проведения процесса в кислой среде ($\text{pH} \approx 4-6$). Эти же реакции в слабощелочной среде идут лучше, чем в кислой, но в этом случае сероводород окисляется не только до серы (образуется тиосульфат, полиитионаты и др.) и цикл разрывается, поскольку такие продукты реакции (12) уже не могут участвовать в реакции (13). Следует отметить, что в отношении процессов (12) и (13) проведен комплекс термодинамических, термохимических, кинетических и структурных исследований, которые и были положены в основу предложенной технологии, разработан проект (Гродненский НИИХиммаш), изготовлены в металле аппараты (ПО "Азот", г. Гродно), которые в настоящее время находятся на Речицком ГПЗ, уже завершается подготовка площадки для монтажа опытно-промышленной установки, предназначенной для очистки попутного нефтяного газа от сероводорода.

IV. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИЗ И ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Высокотемпературный электролиз водяного пара осуществляется при температурах 1080-1300 К в электрохимических ячейках с твердым керамическим электролитом на основе ZrO_2 с добавками Y_2O_3 , Sc_2O_3 , Yb_2O_3 и др., обладающим проводимостью по ионам кислорода, O^{2-} .

Схема электрохимической ячейки приведена на рис.3.

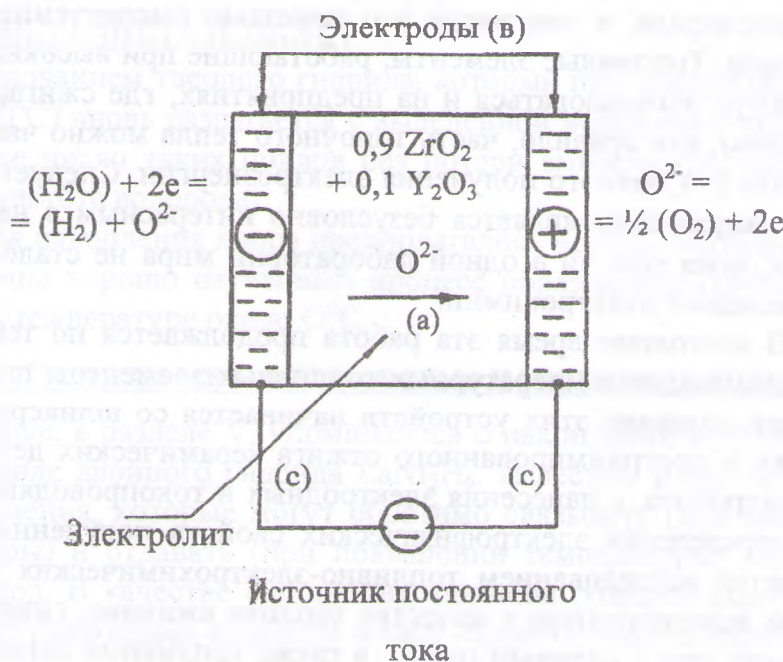


Рис.3. Схема высокотемпературного керамического электролизера: электролит - $0,9\text{ZrO}_2 \cdot 0,1\text{Y}_2\text{O}_3$; электроды - пористые; электропроводящие материалы

В качестве электродов в классическом варианте используют пористое Pt-покрытие и Pt-токоотводы. Такое оформление принципиально не пригодно для практических целей, поэтому разрабатываются многочисленные варианты металлических и оксидных электродов и токопроводов с электронной проводимостью.

Точно такая же схема электрохимической ячейки используется и для высокотемпературного топливного элемента, только обратной является цель - получение электроэнергии за счет окисления топлива (восстановителя - H_2 , NH_3 , CH_4 , CO и др.) и восстановления окислителя (кислорода воздуха, O_2).

И электролиз, и топливные элементы, требующие высоких температур, целесообразно использовать там, где за счет каких-то процессов генерируется избыточное тепло и достигаются высокие температуры, причем всю тепловую энергию по каким-то причинам не удастся использовать полностью. Такие условия создаются обычно на атомных электростанциях, для которых желателен постоянный режим работы, а потребление энергии существенно колеблется в течение суток и в разное время года. В этом случае возникает ситуация, когда

часть производимой энергии необходимо использовать иным путем, в частности, ее можно использовать и для получения водорода из воды или сероводорода, в том числе и с помощью высокотемпературного электролиза. Топливные элементы, работающие при высоких температурах, могут использоваться и на предприятиях, где сжигается обычное топливо; как правило, часть топочного тепла можно частично использовать для прямого получения электроэнергии. Следует отметить, что это направление является безусловно интересным в научном отношении, пока еще ни в одной лаборатории мира не стало устройством прикладной электрохимии.

В настоящее время эта работа продолжается по тематике исследования высокотемпературных топливных элементов, причем в лаборатории создание этих устройств начинается со шликерной массы, формовки и программированного отжига керамических деталей твердого электролита, с нанесения электродных и токопроводящих покрытий, с определения электрофизических свойств полученных ячеек и завершается исследованием топливно-электрохимических характеристик при использовании в качестве топлива аммиака, спиртов, смеси природного газа с водяным паром, а также топливных газов, образующихся при неполном сгорании каменных и древесного углей.

V. ТОПЛИВНЫЙ ХЛОРО-ВОДОРОДНЫЙ АККУМУЛЯТОР

Топливным аккумулятором называется топливный элемент, который может работать и в качестве электролизера, перерабатывающего продукты окисления топлива в исходные формы - окислитель и восстановитель.

В качестве конкретного представителя такого рода устройств нами была изучена система, работающая на основе обратимой реакции:



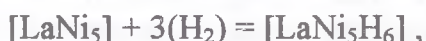
$$\Delta G_T^\circ = -334920 + T \cdot 243,4 \text{ (Дж)}$$

$$\Delta G_{298}^\circ = -262,4 \text{ кДж}$$

$$\Delta \varphi_{298}^\circ = 1,26 \text{ В}$$

Для обратного преобразования получающейся в этом процессе соляной кислоты требуется затрата энергии больше, чем 262,4 кДж на величину перенапряжения выделения газообразных хлора и водорода, так что соотношение этих двух величин энергии в первую очередь и определяет КПД процесса.

Для накопления водорода предлагалось использовать известный процесс взаимодействия его с интерметаллидом LaNi_5 :



т.е. с образованием твердого гидрида, который при легком нагревании (около 100°C) вновь разлагается с выделением водорода и выдерживает большое число таких циклов без потери емкости (определяющим является чистота водорода).

Для накопления хлора предполагалось использовать известный и достаточно хорошо изученный процесс образования газ-гидратов с водой при температуре около 0°C .

VI. ГИДРИДЫ МЕТАЛЛОВ - ФОРМА НАКОПЛЕНИЯ ВОДОРОДА

Выше, в разделе V, упоминалось о накоплении и хранении водорода в виде двойного гидрида LaNi_5H_6 . Известны и другие гидридные соединения, которые могут обратимо связывать (при понижении температуры) и отдавать (при повышении температуры) молекулярный водород. В качестве еще одного примера (хорошо апробированного) аккумулялирования водорода может служить гидрид ферротитана:

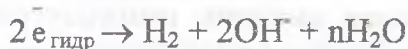


который работает при несколько более высоких температурах, чем LaNi_5H_6 . Эти и подобные примеры свидетельствуют о том, что в ряде задач, которые входят в компетенцию проблемы водородной энергетики, существует интерес к классу гидридных соединений, в связи с чем нами были проведены исследования ряда простых и комплексных гидридов щелочных элементов с бором и аммонием. Для этой цели был использован ранее разработанный нами тензиметрический метод с мембранным нуль-манометром и в достаточно широком интервале температур изучены процессы термического разложения гидридов щелочных элементов (лития, натрия, калия), а также комплексные алюмо-гидриды LiAlH_4 , NaAlH_4 , KAlH_4 , а также Li_3AlH_6 , Na_3AlH_6 и K_3AlH_6 .

В этих работах обобщены многочисленные наши и взятые из литературы данные по простым и комплексным гидридам бора, алюминия и некоторых других элементов, выявлены и обсуждены закономерности их химических характеристик в свете термодинамики и Периодического закона элементов Д.И. Менделеева.

VII. СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ АКТИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В РЕАКЦИЯХ ОКИСЛЕНИЯ ВОДОРОДА КИСЛОРОДОМ

Проблема окисления водорода, создающего в случае контакта с кислородом опасность взрыва, особенно остро возникла в связи с созданием АЭС, главной составной частью которых являются атомные реакторы с водяным контуром. Под действием ионизирующего излучения в воде происходит непрерывный радиолиз молекул с образованием водорода и ряда пероксидных форм по схеме:



где $e_{\text{гидр.}}^-$ - гидратированный электрон-полярон.

Суммарный процесс радиолиза можно упрощенно привести к виду



С целью предотвращения взрывоопасной ситуации в эту среду вносятся катализаторы, которые должны работать в условиях высоких давлений, избытка воды и повышенной температуры.

В этом направлении в проблемной лаборатории была организована работа двух групп сотрудников.

В первом коллективе для решения задачи использовались в качестве катализаторов различные варианты металлических композиций со следовыми добавками некоторых элементов VIII-Б (платиновой) группы. Для испытания каталитических свойств этих композиций был разработан и создан реактор высокого давления со встроенным элек-

тролизером, позволяющим давать в каталитическую зону строго дозированные количества эквивалентной смеси водорода и кислорода. Эта работа в течение ряда лет проводилась совместно с ИАЭ им. И.В.Курчатова, а после распада СССР работа была переориентирована на разработку катализаторов обезвреживания выхлопных газов автомобилей.

Во втором коллективе работа проводилась в направлении создания катализатора на основе активной формы Co_3O_4 на различных носителях. Были получены интересные результаты, но, к сожалению, как и в первом варианте, после распада СССР эта работа оказалась невостребованной и была прекращена.

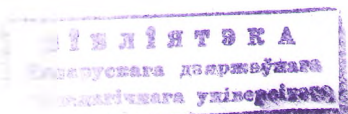
К сожалению, такая же концовка постигла и все перечисленные выше исследования, т.к. сразу же после распада СССР проблемная научно-исследовательская лаборатория, работа которой была посвящена решению многих задач зарождающегося научного направления водородной энергетики (точнее, атомно-водородной энергетики), была просто ликвидирована, закрыта была также лаборатория водородной энергетики, созданная в свое время по инициативе академика А. К. Красина в составе Института ядерной энергетики АН БССР, было прекращено финансирование отраслевой лаборатории при ГПО "Азот" (она финансировалась ИАЭ им. И.В.Курчатова).

А за границей это направление продолжает развиваться, систематически созывается международная конференция по проблеме "Водородной энергетики", решаются некоторые прикладные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шпильрайн Э. Э., Малышенко С. Т., Кулешов Г. Г. Введение в водородную энергетику / Под ред. академика В. А. Легасова. М.: Энергоиздат, 1984.
2. Новиков Г. И., К вопросу о перспективах водородной энергетики. // Хим. и хим.техн.. Вып.шк., вып. 15. Минск, 1980.
3. Новиков Г. И., Малышев А. А., Кузьменко А. Л., Бурая И. Т. Изучение кинетики разложения иодата калия методом газовой калориметрии. // Изв.АН БССР. Сер.хим.н., № 1, 1980.
4. Новиков Г. И., Асташко В. И., Жарский И. М. Энергетические характеристики электросинтеза иодата калия. // Сб. Вопросы атом-

781411



- ной науки и техники: атомно-водородная энергетика и технология. Вып. 3(13). М., 1982.
5. Новиков Г. И., Кузьменко А. Л., Бутылин Б. А. Термодинамический критерий осуществимости сероводородного цикла // ДАН БССР, № 10, т. 24. Минск, 1982.
 6. Новиков Г. И., Воропаев Л. Е., Жарский И. М., Рудько П. К. Условия реализации термо-электрохимических циклов получения водорода // БелНИИТИ, № 356, Бе-Д-83.
 7. Новиков Г. И., Жарский И. М., Волков А. И., Комшилова О. Н., Бутылин Б. А. Изучение взаимодействия оксидных систем и влияние способов их получения на свойства твердых электролитов // Сб. Вопросы атомной науки и технологии, сер. Атомно-водородная энергетика. Вып. 2(15). М., 1983.
 8. Новиков Г. И. Карбонатно-галогенидные циклы ступенчатого разложения воды в термо-электрохимическом режиме // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 4. Минск, 1978.
 9. Новиков Г. И., Матвейко Н. П., Дроздович В. Б., Жарский И. М. Потенциодинамическое исследование некоторых электродов в растворах серной и соляной кислот // Изв. АН БССР, № 2. Сер. физ.-энерг. Минск, 1978.
 10. Новиков Г. И., Гришаева Г. А., Шулупова Н. Я., Третьяк А. Н. Электрохимическое разложение сероводорода // Изв. АН БССР, № 2. Сер. хим., № 2. Минск, 1981.
 11. Новиков Г. И., Белов И. А., Рудько П. К. Кинетика реакции окисления сероводорода водным раствором хлорида железа (III) // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 6. Минск, 1984.
 12. Новиков Г. И., Малышев А. А., Кузьменко А. Л. Об эффективности ступенчатых процессов разложения воды // Изв. АН БССР. Сер. физ.-энерг., № 3, 1984.
 13. Новиков Г. И., Белов И. А., Рудько П. К. Кинетика реакции окисления сероводорода водным раствором хлорида железа (III) // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 6. 1984.
 14. Новиков Г. И., Матвейко Н. П., Деревянко Л. А. Электролитическое разложение водяного пара с образованием водорода и кислорода // Изв. АН БССР. Сер. физ.-энерг., № 3, 1978.
 15. Новиков Г. И., Воробьев Д. Н., Шишкин Н. Я. Углекислотная конверсия метана в УВЧ-плазме // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 5, 1985.

16. Новиков Г. И., Шнып В. А., Бутылин Б. А., Шишкин Н. Я., Красноштанов В. А. Кинетика каталитического окисления водорода кислородом при давлении паров воды до 2 МПа // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 4. Минск, 1986.
17. Новиков Г. И., Бутылина И. Б., Гришаева Г. А. Электродпроводность раствора ферри-, ферроцианидов калия // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 5, 1986.
18. Новиков Г. И., Капица М. С., Гришаева Г. А. Возможность использования графита в качестве катодного материала в системе с твердым полимерным электролитом // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 1, 1986.
19. Новиков Г. И., Балебанов А. В., Животов В. К. и др. Установка мощностью 50 кВт по плазмохимическому переделу сероводородсодержащих газов на Дрогобычском нефтеперерабатывающем заводе // Сб. Вопросы атомной науки и техники. Сер. атомноводородная энергетика, № 2, 1987.
20. Новиков Г. И., Чиркун И. Э., Пахомов В. П., Карпеко Ю. В. Равновесие в системе метан-водяной пар в условиях высокотемпературного электролиза воды // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 3, 1987.
21. Новиков Г. И., Шишкин Н. Я., Воробьев Д. Н., Бутылин Б. А. Утилизация кислых компонентов природного газа с целью выделения серы // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 5, 1987.
22. Новиков Г. И., Матвейко Н. П. Модификация бисалицидных электродных материалов углеродом. Катодное выделение водорода // Изв. АНБ. Сер. хим., № 1, 1997.
23. Новиков Г. И., Гаманович Н. М. Электрохимическое окисление аммиака в высокотемпературном топливном элементе // ЖПХ, т. 70, вып. 7, 1997.
24. Новиков Г. И., Гаманович Н. М. Использование паров этилового спирта в качестве топлива в высокотемпературном топливном элементе // ЖПХ, т. 70, вып. 7, 1997.
25. Новиков Г. И., Орехова С. Е., Бадалов А. Термическое разложение тетра- и гексагидридоалюминатов лития // Изв. АН БССР. Сер. хим., № 6, 1992.
26. Орехова С. Е., Бадалов А., Глыбин В. П., Новиков Г. И. Термодинамическое исследование алюмогидридов и гидридов натрия и калия // IX Всесоюзная конфер. по калориметрии и хим. термодинамике (тезисы докл.). Тбилиси, 1982.

27. Бадалов А., Новиков Г. И., Мирсаидов У. и др. Системный анализ свойств бинарных и алломогидридов щелочных металлов // V Всесоюзная конфер. по химии гидридов (тез.докл.). Душанбе, 1991.
28. Довбышева Т. Н., Новиков Г. И., Горбонос П. О., Демьянчук В. В. Окисление водорода кислородом на катализаторе $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Al}_2\text{O}_3$ в присутствии паров воды // Изв.АН БССР. Сер.хим., № 1, 1992.
29. Довбышева Т. Н., Новиков Г. И., Горбонос П. О., Демьянчук В. В. Исследование адсорбции воды на низкотемпературном катализаторе кобальтита кобальта // Изв.АНБ. Сер.хим., 1992.
30. Новиков Г. И., Кузьменко А. Л., Рудько П. К., Бутылин Б. А., Матвеева Т. А., Томашева Л. Т. Окисление сероводорода кислотными растворами комплексных (ЭДТА) ионов железа (III) // Изв.АН БССР. Сер.хим., № 6, 1991.
31. Мицкевич Е. Н., Бутылин Б. А., Новиков Г. И. Термохимическое исследование реакции окисления сероводорода водным раствором сульфата железа (III) // Изв.НАНБ. Сер.хим., № 2, 1999.
32. Гаманович Н. М., Новиков Г. И. Электрохимическое окисление природного газа в высокотемпературном топливном элементе. АНБ. Сер.хим., № 4, 1995.

УДК 66: 674.815

С. Е. Орехова, доцент;
Л. И. Хмылко, ст.препод.;
В. А. Ашуйко, доцент;
Л. Н. Новикова, доцент

СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОПИЛОК

The ways to purify waste gases from CH_2O , C_6H_6 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$, and $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH=CH}_2$ using sorbents prepared from timber - industry by - products.

При выборе систем, используемых для очистки выбросов предприятий, руководствуются принципами, в основе которых лежит их эффективность и экономичность.

На территории РБ достаточно интенсивно функционирует деревообрабатывающая отрасль.

Использование древесины в народном хозяйстве, создание из нее предметов, материалов народного потребления требует её механической обработки. При механической обработке древесины образуются разнообразные древесные отходы, в частности опилки. Объём опи-